临床研究

三维可视化、3D打印及3D腹腔镜在肝肿瘤外科诊治中的应用

方驰华[1],方兆山[1],范应方[1],李鉴轶[2],向 飞[1],陶海粟[1]
[1]南方医科大学珠江医院肝胆一科,广东 广州 510282;[2]南方医科大学解剖学教研室//广东省医学生物力学重点实验室,广东 广州 510515

摘要:目的 研究三维可视化、3D打印、3D腹腔镜(3-3D技术)在肝脏肿瘤外科诊治中的应用价值。**方法** 收集2013年11月~2015年1月22例肝脏肿瘤患者资料,首先进行上腹部薄层CT扫描,收集CT数据,然后利用MI-3DVS软件进行三维可视化、肝脏脉管分型、虚拟肝切除等术前规划。将三维可视化的STL文件打印3D物理模型,进行肝预切除面界定。采用3D腹腔镜进行解剖性肝切除。观察手术时间、术中出血量、实际肝切除体积、术后住院时间。**结果** 肝动脉按Michels分型:Ⅰ型19例,Ⅱ型2例,Ⅷ型1例;门静脉按Cheng分型:Ⅰ型17例,Ⅱ型2例,Ⅲ型2例,Ⅳ型1例。肝静脉根据Nakamura分型:Ⅰ型10例,Ⅱ型7型,Ⅲ型5例。虚拟切除肝体积490±228 ml,残肝体积885±139 ml;残肝体积与功能肝体积之比0.71±0.11。3D打印模型立体显示了肝肿瘤和脉管的空间关系。20例完成腹腔镜肝切除术,2例中转开腹。手术时间186±92 min,术中出血量284±286 ml,实际切除肝体积491±192 ml,术后住院时间为8.6±3.7 d。**结论** 3-3D技术有助于术前安全评估、关键解剖部位的定位、实时导航手术和解剖性肝切除术。

关键词:三维可视化;3D打印;3D腹腔镜;肝肿瘤;解剖性肝切除术

Application of 3D visualization, 3D printing and 3D laparoscopy in the diagnosis and surgical treatment of hepatic tumors

FANG Chihua[1], FANG Zhaoshan[1], FAN Yingfang[1], LI Jianyi[2], XIANG Fei[1], TAO Haisu[1]
[1]First Department of Hepatobiliary Surgery, Zhujiang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510282, China; [2]Department of Anatomy, Southern Medical University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Medical Biomechanics, Guangzhou 510515, China

Abstract: Objective To study the value of three-dimensional (3D) visualization, 3D printing and 3D laparoscopy (3-3D techniques) in the diagnosis and surgical treatment of hepatic tumors. **Methods** From November 2013 to January 2015, 22 patients with hepatic tumors admitted in our department underwent abdominal thin-slice CT scanning. The CT images were imported into Medical Image three Dimensional Visualization System (MI-3DVS) for 3D reconstruction. Standard Template Library (STL) files were exported for 3D printing. The hepatic vascular classification and predicted liver resection were performed with the aid of MI-3DVS system. The 3D models were then printed and virtual liver resections were executed accordingly. Based on these preoperative surgical planning data, we performed anatomical hepatectomy using 3D laparoscopy, and the intraoperative blood loss, volume of virtual and actual liver resection and postoperative hospital stay were recorded. **Results** According to Michels's classifications, 19 patients had type I, 2 had type II, and 1 had type VIII hepatic arteries; based on Cheng classifications, the portal vein was classified into type I in 17 cases, type II in 2 cases, and type III in 2 cases, and type IV in 1 case; according to Nakamura classifications, the right hemiliver hepatic vein was classified into type I in 10 cases, type II in 7 cases, and type III in 5 cases. In the virtual operations, the mean volume of liver resected was 490±228 ml and the mean remnant liver volume was 885±139 ml, with a remnant to functional liver volume ratio of (71±11)%. The 3D printed models stereoscopically displayed the location of the liver tumors and adjacent liver vascular structure clearly. Laparoscopic hepatectomy was performed successfully in 20 patients guided by the 3-3D techniques, and the other 2 patients required convertion to open hepatectomy. The mean operation time was 186±92 min, the intraoperative blood loss was 284±286 ml, the mean actual liver resection volume was 491±192 ml, and the mean postoperative hospital stay of the patients was 8.6±3.7 days. **Conclusions** The 3-3D technique can facilitate the evaluation of preoperative risk and critical anatomical structures and navigate the surgical procedure in real time in anatomical hepatectomy for hepatic tumors.

Key words: three-dimensional visualization; 3D printing; 3D laparoscopy; hepatic tumors; anatomical hepatectomy

随着数字医学技术的发展,三维可视化系统MI-3DVS的出现[1],可快速将CT二维(2D)图像转化为3D可视化图像并应用于肝胆外科疾病的诊治。近年来,3D打印技术已经应用于医学领域,如头颈外科、骨科、生物医药研究等[2]。3D打印技术在小肝癌诊治中,顺利完成手术并获得阴性切缘的良好效果[3]。传统2D腹腔镜在肝切除术发挥了重要作用,但由于空间、深度

收稿日期:2015-03-31
基金项目:国家高技术研究发展(863)计划(2012AA021105);国家自然科学基金(U1401254);广东省重大科技专项(2012A080203013)
Supported by National High Technology Research and Development Program of China (2012AA021105) and Supported by Key Project National Natural Science Foundation of China (U1401254).
作者简介/通信作者:方驰华,博士,二级教授,主任医师,E-mail: fangch_dr@163.com

感缺失等原因,一定程度上限制了腹腔镜肝切除术的发展。而3D腹腔镜具有良好的景深感、高清分辨率、可精确定位等优点[4]。我们采用三维可视化联合3D腹腔镜曾对16例肝胆疾病进行手术[5],实现了精准的肝胆外科数字化微创手术。在此基础上,为了全面实现肝脏肿瘤解剖数字化、诊断三维程序化、手术三维可视化,本研究将三维可视化、3D打印和3D腹腔镜技术相结合,应用于肝脏肿瘤的外科诊治。经查询,国内外尚未见类似文献报道。

1 资料与方法

1.1 研究对象

收集2013年12月~2015年1月南方医科大学珠江医院肝胆一科22例患者的临床资料。其中男14例,女8例,年龄52±13(28~70)岁。术前诊断为原发性肝癌11例,肝功能级别均为Child -pugh A级,均伴有乙肝背景,其中AFP20 μg/L~6184 μg/L 6例;肝转移癌3例;结节性增生2例;肝血管瘤6例。所有患者均签署知情同意书,符合医疗护理操作常规。

1.2 CT扫描与数据收集

采用256层螺旋CT(Philips Brilliance,荷兰)扫描,收集患者平扫、动脉期、门静脉期和肝静脉期薄层CT数据,具体参数及方法见文献[6]。

1.3 三维可视化

1.3.1 三维可视化 将薄层CT数据导入腹部医学图像三维可视化软件系统(MI-3DVS),进行快速图像分割、配准和三维重建[6]。

1.3.2 肝脏脉管分型 采用Michels肝动脉分型[7],Cheng门静脉分型[8], Nakamura等[9]和幕内雅敏肝脏外科》肝静脉分型[10]。

1.3.3 虚拟肝体积计算 采用MI-3DVS软件进行虚拟肝切除,并计算功能肝体积、肝肿瘤体积、残肝体积等[11]。

1.4 3D打印物理模型步骤

将MI-3DVS重建的3D图像STL文件导入到快速成型软件ZEdit™3.21 (3D systems,美国)中,采用Spectrum Z™ 510 (3D systems,美国)打印机进行打印1∶1 3D物理模型,然后进行打印后处理,即完成3D打印模型制作[12]。

1.5 3D腹腔镜解剖性肝切除术步骤

采用德国KARL STORZ 3D高清摄像系统和索尼高清监视器,结合三维可视化图像、3D打印模型,进行腹腔镜下解剖性肝切除术。

(1)体位:左肝病灶切除采用仰卧位;右肝病灶切除采用左侧倾斜卧位,右腰部略垫高,适当头高足底。(2) Trocar选择及操作空间的建立:根据情况需要采用4孔或5孔进行操作,于脐周,穿刺置入10 mm套管作为置入腹腔镜观察孔。右半肝切除术主操作孔位于剑突下,副操作孔位于右锁骨中线肋缘下2~3 cm,左半肝切除术主操作孔位于左锁骨中线肋缘下2~3 cm,副操作孔位于右腹直肌外侧缘,根据情况需要再适当增加1~2个辅助操作孔,进行辅助肝脏手术。(3)肝肿瘤定位:通过便携计算机的阅读三维可视化软件Viewer观看3D图像模型,辨认脉管、肿瘤位置,并调整至与患者肝脏同样的解剖位置,同时将3D打印模型放置于与患者肝脏同样的解剖位置,置入3D腹腔镜探查,进一步确定肝切除术方案。(4)第一肝门解剖与区域性血流阻断:根据术前三维可视化图像对肝动脉和门静脉辨认,结合3D打印模型定位,解剖第一肝门;根据肝切除术部位需要对入肝血流进行选择性阻断;根据肝脏表面会出现相应的缺血线、结合三维可视化图像虚拟肝切除平面和3D打印模型术前虚拟切除平面决策,确定实际肝切除术平面。(5)其余步骤同文献[13]。

1.6 观察指标

虚拟肝切除体积、残肝体积、功能肝体积、肿瘤体积,以及手术时间、术中出血量、实际肝切除体积和术后住院时间。

1.7 术后随访

术后定期1~11月进行随访,中位数5月,进行AFP和CT检查,并行三维可视化。

1.8 统计学分析

采用SPSS19.0统计软件进行分析,计量资料用均数±标准差表示,分类变量资料采用率表示。虚拟肝脏体积与实际切除肝脏体积比较采用*t*检验,其相关检验采用Pearson相关分析,$P<0.05$认为有统计学差异。

2 结果

2.1 三维可视化结果

2.1.1 肝脏、肝脏脉管与肝肿瘤的空间位置关系 通过MI-3DVS三维可视化系统,可获得结构清晰、立体感强的可视化肝脏3D图像,并可清晰辨认肝肿瘤与肝脉管的空间关系(图1)。

2.1.2 肝脏脉管分型 (1)Michels肝动脉分型:Ⅰ型19例,Ⅱ型2例,Ⅷ型1例,未见其他型变异;(2)Cheng门静脉分型:Ⅰ型17例,Ⅱ型2例,Ⅲ型2例,Ⅳ型1例,Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ型变异未见;(3)Nakamura肝静脉分型:①LHV(肝左静脉)和MHV(肝中静脉)汇入IVC(下腔静脉)结果:LHV和MHV共干后汇入IVC共19例;LHV、MHV单独汇入IVC共3例;②肝右静脉(RHV)分型:根据RHV距离根部1 cm有无分支,以及出现引流Ⅶ段的肝右上静脉和/或引流Ⅷ段的静脉情况分型:距离根部1 cm以内无静脉分支(即Ⅰ型)17例;距离根部1 cm以内有静脉分支(即包括Ⅱa、Ⅱb、Ⅲ)为5例;③右半肝的

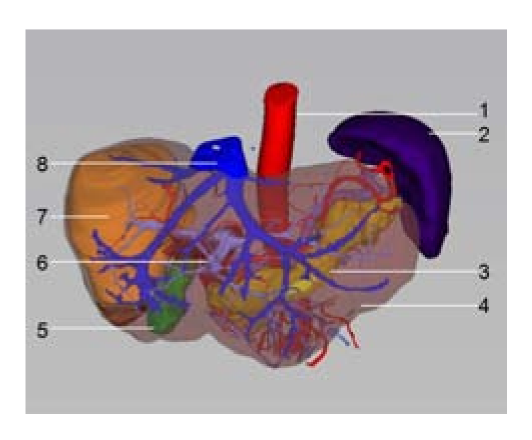


图1 肝脏三维可视化图像

Fig.1 The 3D visualization image of the liver model. 1: Abdominal aorta, 2: Spleen; 3: Pancreas; 4: Liver; 5: Gallbladder; 6: Portal vein; 7: Liver tumor 8.hepatic vein.

静脉分型：根据右半肝静脉、肝右下静脉或肝右静脉以及肝中静脉的不同组合分型：Ⅰ型：RHV粗大，引流肝右叶大部分，伴有小的或不伴右后下肝静脉（IRHV），占10例；Ⅱ型：RHV中等大小，IRHV中等大小，占7例；Ⅲ型：只有引流Ⅶ段的短小的RHV，MHV粗大，IRHV较粗大，占5例。

2.1.3 虚拟肝切除体积测量 根据肿瘤位于肝段，结合肝脏脉管走行，进行以肝段为本的虚拟肝切除，计算相应肝体积，结果：功能肝体积1 248±106 ml；肝脏肿瘤体积137±123 ml；虚拟切除肝体积490±228 ml；残肝体积885±139 ml；残肝体积与功能肝体积之比0.71±0.11（范围0.39~0.86）（注：功能肝体积=全肝体积－肿瘤体积）。

2.2 3D打印模型

可获得高保真的3D打印模型，真实立体反映了肝肿瘤与脉管的空间关系，通过观察可明确重要脉管的走行，术前可多维度预见术中解剖（图2）。

2.3 手术结果

2.3.1 围手术期结果 22例患者中，20例患者在3D腹腔镜下完成解剖性肝切除术，2例中转开腹。平均手术时间186±92 min，平均术中出血量284±286 ml，平均实际切除肝体积491±192 ml，平均术后住院时间8.6±3.7 d。

20例在3D腹腔镜下完成解剖性肝切除术，其中右半肝切除4例，右后叶切除2例，左半肝切除2例，左外叶切除5例，肝段Ⅴ、Ⅵ、Ⅷ和亚肝Ⅳb段切除分别为2例、2例、1例和2例。平均手术时间175±89 min，平均术中出血量212±174 ml，平均术后住院时间8.0±3.2 d。

中转开腹2例，其中1例为肝右后叶切除，1例为肝Ⅷ段切除。均为解剖位置所限制、术中出血而中转开腹完成手术。平均手术时间290±42 min，术中平均出血量1000±141 ml，平均术后住院时间15.1±2.6 d。

20例腹腔镜完全手术患者术后第2~3天可下地活动，术后2~4 d拔除胃肠减压管，术后3~7 d可拔除腹腔引流管。

2.3.2 术后病理情况 肝细胞癌11例，转移腺癌2例，肉瘤样肝细胞癌1例，海绵状肝血管瘤6例，结节性增生2例。14例肝恶性肿瘤均获得阴性切缘（R0）。

2.3.3 术后并发症 胸腔积液3例，腹水1例，胆漏1例，其余17例术后无并发症，术后无肝功能衰竭发生。无患者围手术期死亡。

2.3.4 虚拟切除肝体积和实际切除肝体积比较 虚拟切除肝体积为490±228 ml，实际切除肝体积为491±192 ml，两者t检验比较（t=-0.016，P>0.05），差异无统计学意义，Pearson相关性检验（r=0.979，P<0.001），说明虚拟切除肝脏体积和实际切除肝脏体积具有高度相关性（图3）。

2.3.5 术后随访结果 术前6例AFP异常的患者，均于术后2周~3月下降至正常。1例原发性肝癌，术后6个月CT检查和三维可视化发现肝内转移并伴有门静脉癌栓形成。



图2 肝肿瘤与脉管3D物理模型

Fig.2 A physical 3D printed model showing the liver tumor (yellowish brown), the hepatic vein (dark blue), and the portal vein (grey).

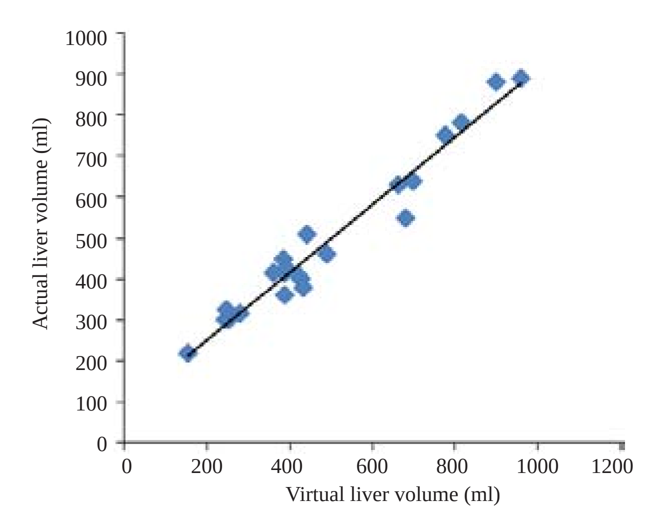


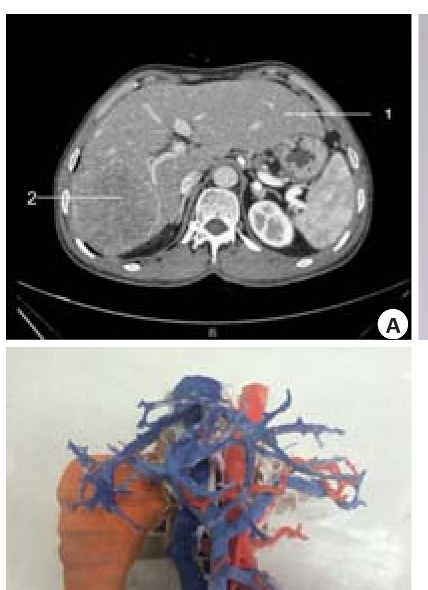
图3 虚拟肝切除体积和实际肝切除体积Pearson相关分析

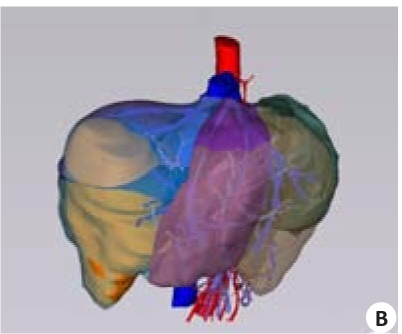
Fig.3 Correlation analysis of the resected liver volume between the virtual and actual operations of liver resection.

2.4 典型病例

典型病例1:患者余某,男性,58岁,因"直肠癌术后6年余,反复右上腹胀痛7 d"入院。查体:腹部平坦,左下腹可见长约15 cm纵行手术疤痕。右锁骨中线肋缘下约5 cm,剑突下约3 cm可触及肝脏,边缘钝,无触痛,移动性浊音阴性。CT:肝右叶肿块,大小8.3 cm×9.5 cm×12.0 cm,呈"快进快出"表现,考虑肝右叶肝癌。术前诊断:(1)右肝转移性腺癌;(2)直肠癌术后。术前三维可视化评估:功能肝体积为1 450 ml,肿瘤体积433 ml,虚拟切除肝体积为765 ml,残肝体积为1 018 ml,残肝体积比0.70。手术时间为290 min,术中出血650 ml,实际切除肝体积为750 ml,术后住院时间12 d。术后病理:肝右叶转移性腺癌。术后7月CT复查和三维可视化均未见肿瘤复发(图4~6)。

典型病例2:许某,男,68岁,体检发现肝脏占位10天入院。查体:腹部平坦,肝脏肋缘下未触及,未触及腹部包块,肝肾区无叩击痛,移动性浊音阴性。CT:肝右叶肿块,大小4.6 cm×5.4 cm×6.0 cm,增强扫描呈"快进快出"表现,考虑肝细胞癌。术前诊断:(1)肝右叶原发性肝癌 (2)慢性乙型病毒性肝炎。术前三维可视化评估:功能肝体积为1050 ml,肿瘤体积为50 ml,虚拟切除肝体积327 ml,残肝体积722 ml,残肝体积比0.68。手术时间为300 min,术中出血量为450 ml,实际切除体积为310 ml,术后住院10 d。术后病理:肝细胞肝癌,伴脂





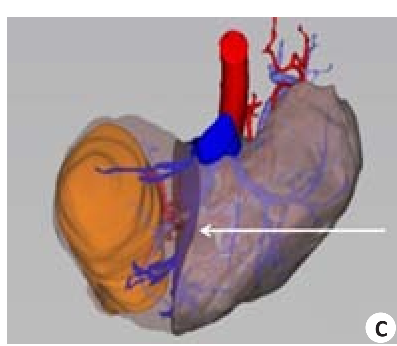


图4 术前影像学资料

Fig.4 Preoperative imaging data. *A*: Preoperative CT image (1. liver, 2. hepatic tumor); *B*: Tumor location in couinaud V, VI, VII and VIII segments; *C*: The plane of virtual liver resection (yellow arrow); *D*: 3D printed model of the liver tumor and the vascular system.

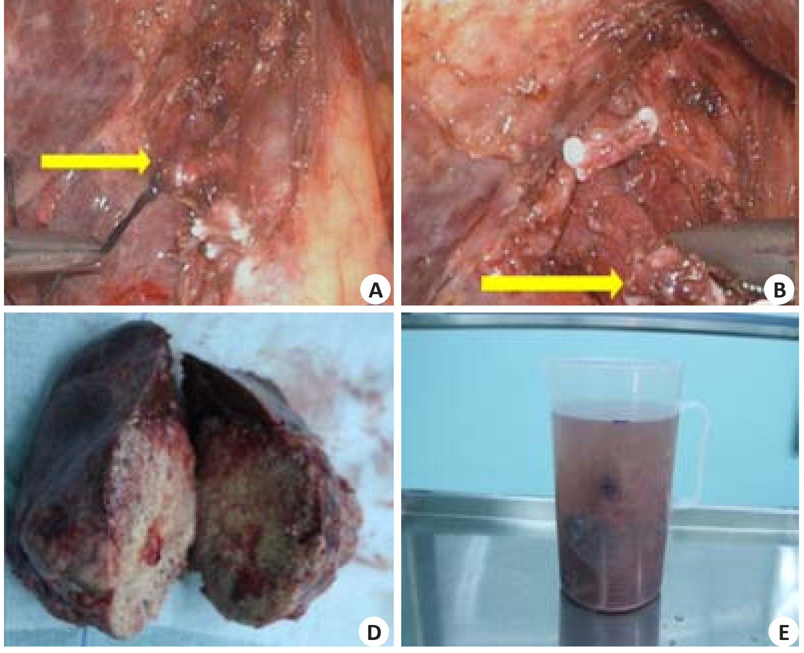




图5 术中图像资料

Fig.5 Intraoperative imaging data. *A*: Dissection of the right hepatic artery (yellow arrow); *B*: Dissection of the right portal vein (yellow arrow); *C*: Resection of liver ischemia with the transection line; *D*: Resected specimen of the liver; *E*: Volume measurement of the resected specimen by liquid displacement.

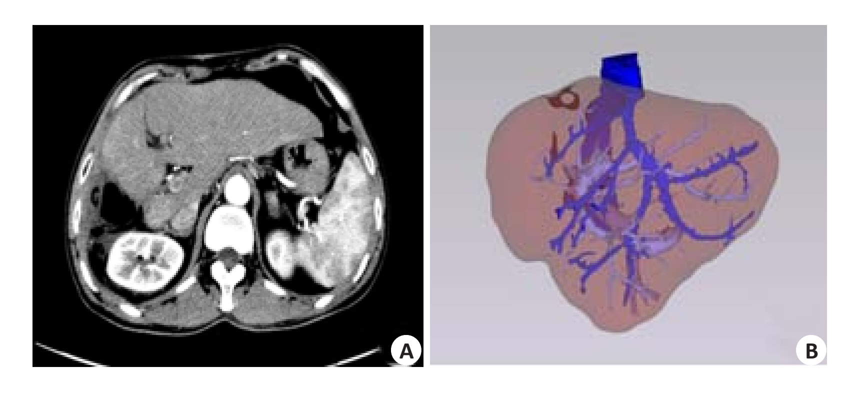


图6 术后影像学资料

Fig.6 Postoperative imaging data. *A*: Postoperative CT image; *B*: Postoperative 3D imaging model.

肪变。术后5月CT复查和3D可视化未见肿瘤复发(图7~9)。

3 讨论

3.1 三维可视化对肝肿瘤术前评估的意义

通过三维可视化,可清晰辨认肝肿瘤位置、肝脏脉管结构,以及其立体空间关系。如果进行半肝切除术,对于Cheng氏门静脉Ⅱ型变异,在离断门静脉分支时,应距离左右分叉处1 cm以上进行处理,避免术后门静脉狭窄的发生[14]。对于门静脉Cheng分型Ⅲ、Ⅳ型,右半肝切除术时,必须确保没有结扎、离断门静脉左支,否则术后将导致门静脉左支缺如,引起灾难性的后果[15]。本研究中,Cheng氏门静脉Ⅱ型、Ⅲ型和Ⅳ型变异,分别为2例、2例和1例,其中2例进行右半肝切除术,1例为Ⅱ型变异,离断门静脉右支,于距离门静脉左右支分叉处1.5 cm以远进行离断,术后1月CT检查和三维可视化显示无门静脉狭窄;1例为门静脉Ⅳ型变异,进行第一肝门解剖,明确门静脉左支走行才进行离断门静脉右后、右前分支,确保了保留左半肝的门静脉供血的完整性,该患者术后恢复良好。

肝切除术中,保留足够的肝脏回流静脉,可减少术后肝脏淤血等不良事件的发生。如属于右半肝静脉分型Ⅰ型时,进行肝脏的肝Ⅶ段或/和肝Ⅷ段切除术之前,根据三维可视化和3D打印模型明确保留肝脏的肝静脉回流分支,保障肝Ⅵ段和肝Ⅴ段的回流静脉,可避免术后肝脏淤血而可能导致肝功能不全。Gobardhan等[16]

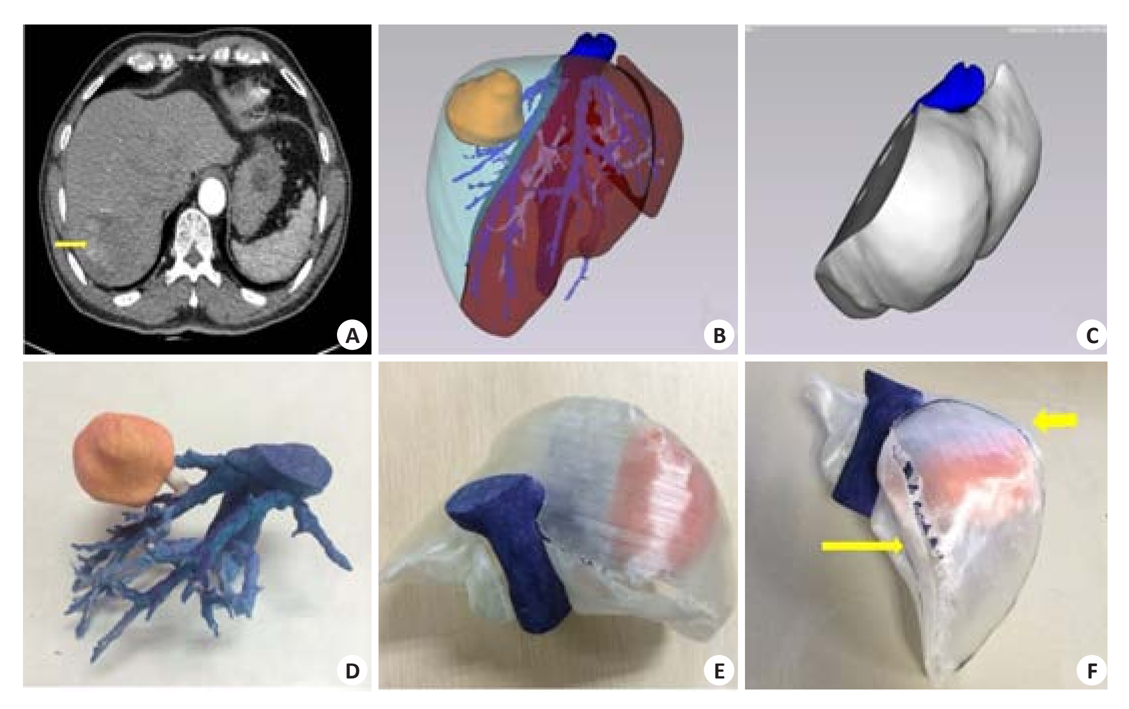
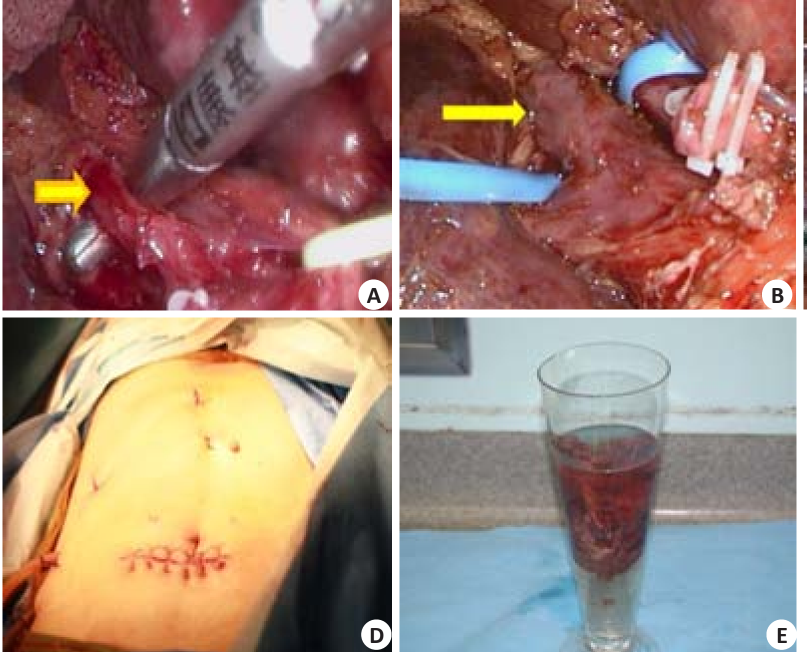


图7 术前影像学资料

Fig.7 Preoperative imaging data. *A*: Preoperative CT image of the liver tumor (yellow arrow). *B*: Virtual hepatectomy showing the liver tissue to be virtually resected (light blue), liver tumor (brown), and virtually reserved liver tissue (red); *C*: Automatic measurement of the remnant liver volume (722 ml); *D*: 3D printed model; *E*: Semi-transparent 3D printed model of the liver showing the liver tumor (brown-yellow), the liver surface (white), and the inferior vena cava (dark blue); *F*: Virtual liver resection on 3D printed model with a virtual transection line (yellow arrow).



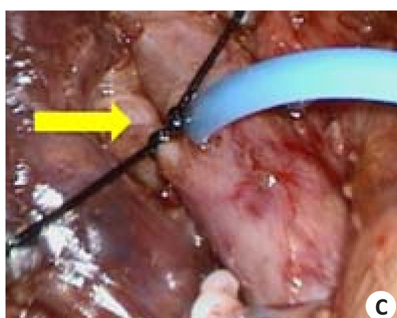


图8 术中图像资料

Fig.8 Intraoperative imaging data. *A*: Dissection of the right posterior hepatic artery(yellow arrow); *B*: Dissection of the right anterior portal vein (yellow arrow); *C*: Ligation of the right posterior portal vein; *D*: Photograph after abdominal skin suture; *E*: Volume measurement of the resected specimen.



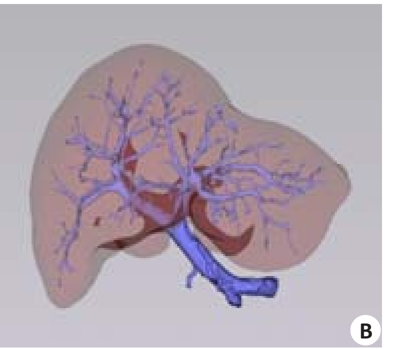


图9 术后影像资料

Fig.9 Postoperative imaging data. *A*: Postoperative CT image (arterial phase); *B*: Postoperative 3D reconstruction model showing the absence of the right posterior portal vein.

认为进行腹腔镜右半肝切除时，明确肝Ⅷ段的回流静脉是汇入肝中静脉还是直接汇入下腔静脉，可避免必要的术中大出血。

术前准确评估残肝体积是至关重要的。基于CT数据进行的三维可视化除了能准确计算残肝体积[17]，还能提供肝脏脉管结构与肝脏肿瘤的空间关系，对于术前手术规划及指导实际手术都有重要临床意义。正常肝脏，保留的残肝体积与功能肝体积比>0.3；伴肝炎肝硬化、肝脏化疗后等肝功能异常，残肝体积比>0.5[18]，一般可避免肝切除术术后肝功能衰竭发生。本文22例肝肿瘤患者，残肝体积比为0.71±0.11（0.39~0.86），术后无肝功能衰竭发生，并且虚拟肝切除肝体积和实际切除肝体积分别为490±228 ml和491±192 ml，Pearson相关性检验r=0.979，P<0.001，这说明两者体积相关性高，也说明MI-3DVS可视化系统有助于肝切除术围手术期处理。

3.2 肝脏3D打印模型，可用于指导肝脏手术

3D打印实现了三维图像向实体三维物理模型的跨越式转变。进行腹腔镜肝切除时，将3D打印模型带入手术室与术中实时手术进行比对，通过调整3D打印模型并置于最佳解剖位置，可为手术关键步骤提供直观的实时导航，对关键部位快速识别和定位。通过精确定位病灶并确定手术切除平面，实时引导重要脉管的分离和肿瘤病灶的切除，实现完整切除病灶和避免重要解剖结构的副损伤，从而提高手术的根治性切除，降低手术风险。本研究14例肝恶性肿瘤患者均获得了R0切缘。Zein等[19]采用半透明肝脏3D模型于活体肝移植中，表明术中通过实时调整3D打印模型，有助于关键部位的解剖定位、肝离断面的脉管处理，并减少手术时间和并发症。

3.3 3D腹腔镜对肝脏肿瘤手术的意义

解剖性肝切除术[20]具有如下优势：符合肝肿瘤外科的根治原则，可获得更好的预后；相比于开腹，对肿瘤触摸和挤压更少，更符合“无瘤原则”；区域性血流阻断，更好地保护了剩余肝脏功能，减少了术后肝功能衰竭的发生；手术切口小，术后疼痛轻，对免疫功能影响小，患者术后恢复快，并发症少。Cai等[21]认为出血是腹腔镜肝

切除手术过程中最常见的并发症,也是中转开腹的主要原因。而术中出血也是肝切除术后死亡的一个危险因素,已被证实是影响近期和远期预后的不利因素[22]。难以控制肝断面出血和肝内脉管出血,是腹腔镜肝切除术未能广泛开展的原因之一[23]。因此,控制出血是腹腔镜肝切除术成败的关键。3D腹腔镜具有良好的景深感、空间定位和高清视野,有助于辨认肝门、肝脏深部各种管道结构。结合3D打印模型,更有利于进行区域性入肝血流阻断[24],进而可从容地进行肝切除术。本研究中,肝切除术中需要进行第一肝门解剖,均可顺利完成并进行区域性血流阻断。Tranchart 等[22]认为腹腔镜下进行区域性血流阻断,具有比全肝血流阻断更少的术中输血量和输血率,并可减少术后住院时间。本研究22例患者,共有20例在3D腹腔镜下完成解剖性肝切除术,平均手术时间175±89 min,平均术中出血量212±174 ml,说明3D腹腔镜下肝切除术手术操作、术中出血是可控的。

目前腹腔镜大块肝切除术[16, 25]的文献较少,本研究进行9例腹腔镜下大块肝切除术,顺利完成了8例,其中右半肝切除4例,左半肝切除2例,右后叶切除术2例(典型病例2是其中1例)。另外1例为右后叶切除中因术中出血中转开腹完成,说明3D腹腔镜在大块肝切除术中具有优势。因此,3-3D技术有助于术前安全评估、关键解剖部位的定位、实时导航手术和解剖性肝切除术。

参考文献:

[1] Fang CH, Tao HS, Yang J, et al. Impact of three-dimensional Reconstruction technique in the operation planning of centrally located hepatocellular carcinoma[J]. J Am Coll Surg, 2015, 220(1): 28-37.

[2] Michalski MH, Ross JS. The shape of things to come 3D printing in medicine[J]. JAMA, 2014, 312(21): 2213-4.

[3] Igami T, Nakamura Y, Hirose T, et al. Application of a three-dimensional print of a liver in hepatectomy for small tumors invisible by intraoperative ultrasonography: preliminary experience [J]. World J Surg, 2014, 38(12): 3163-6.

[4] 范应方, 项 楠. 3D腹腔镜胆囊切除术治疗胆囊结石1例并文献复习[J]. 南方医科大学学报, 2013, 33(12): 1856-7.

[5] 项 楠, 方驰华, 范应方, 等. 三维可视化技术联合3D腹腔镜在肝胆外科的应用[J]. 中华消化外科杂志, 2014, 13(4): 306-9.

[6] 杨 剑, 方驰华, 范应方, 等. 基于亚毫米CT扫描数据的肝外胆管供血动脉三维可视化模型构建[J]. 南方医科大学学报, 2014, 34(7): 945-9.

[7] Michels NA. Newer anatomy of the liver and its variant blood supply and collateral circulation[J]. Am J Surg, 1966, 112(3): 337-47.

[8] Cheng YF, Huang TL, Lee TY, et al. Variation of the intrahepatic portal vein; angiographic demonstration and application in living-related hepatic transplantation[J]. Transplant Proc, 1996, 28 (3): 1667-8.

[9] Nakamura S, Tsuzuki T. Surgical anatomy of the hepatic veins and the inferior vena cava[J]. Surg Gynecol Obstet, 1981, 152(1): 43-50.

[10]幕内雅敏. 要点与盲点: 肝脏外科[M]. 2版. 北京: 人民卫生出版社, 2010: 17-21.

[11]方驰华, 冯石坚, 范应方, 等. 三维可视化技术在评估残肝体积及指导肝切除中的应用研究[J]. 肝胆外科杂志, 2012, 20(2): 95-8.

[12]孔祥雪, 聂兰英, 肖菊姣, 等. 新型肝脏管道模型的数字化制造研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2014, 32(3): 256-8.

[13]中华医学会外科学分会肝脏外科学组. 腹腔镜肝切除专家共识与手术操作指南(2013版) [J]. 中华消化外科杂志, 2013, 12(3): 161-5.

[14]刘允怡. 肝切除与肝移植应用解剖学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2010: 39-50.

[15] Germain T, Favelier S, Cercueil JP, et al. Liver segmentation: practical tips[J]. Diagn Interv Imaging, 2014, 95(11): 1003-16.

[16] Gobardhan PD, Subar D, Gayet B. Laparoscopic liver surgery[J]. Best Pract Res Clin Gastroenterol, 2014, 28(1): 111-21.

[17] Ulla M, Ardiles V, Levy-Yeyati E, et al. New surgical strategy to induce liver hypertrophy: role of MDCT-volumetry to monitor and predict liver growth [J]. Hepatogastroenterology, 2013, 60(122): 337-42.

[18] Mise Y, Sakamoto Y, Ishizawa T, et al. A worldwide survey of the current daily practice in liver surgery[J]. Liver Cancer, 2013, 2(1): 55-66.

[19] Zein NN, Hanouneh IA, Bishop PD, et al. Three-Dimensional print of a liver for preoperative planning in living donor liver transplantation[J]. Liver Transplantation, 2013, 19(12): 1304-10.

[20] Ahn KS, Kang KJ, Park TJ, et al. Benefit of systematic segmentectomy of the hepatocellular carcinoma[J]. Ann Surg, 2013, 258 (6): 1014-21.

[21] Cai X, Li Z, Zhang Y, et al. Laparoscopic liver resection and the learning curve: a 14-year, single-center experience[J]. Surg Endosc, 2014, 28(4): 1334-41.

[22] Tranchart H, Di Giuro G, Lainas P, et al. Laparoscopic liver resection with selective prior vascular control[J]. Am J Surg, 2013, 205(1): 8-14.

[23] Yin Z, Fan X, Ye H, et al. Short- and long-term outcomes after laparoscopic and open hepatectomy for hepatocellular carcinoma: a global systematic review and meta-analysis[J]. Ann Surg Oncol, 2013, 20(4): 1203-15.

[24]蔡秀军, 王一帆, 梁 霄, 等. 区域性血流阻断技术在腹腔镜肝切除术中的应用[J]. 中华外科杂志, 2006, 44(19): 1307-9.

[25] Lin N, Nitta H, Wakabayashi G. Laparoscopic major hepatectomy [J]. Ann Surg, 2013, 257(2): 205-13.

(编辑:陈望忠)